

Information List (Form 1)

US Serial No.	10,786,912
Our Ref.	ND-M357

The following is a List of References provided by Applicant. Please file an Information Disclosure Statement using this Information.

Document Number	Publication Date	Brief Explanation or Page(s) & Line(s) of Related Part(s)
JPP 2002-364991	December 18, 2002	US 2002/0189792 A vibrator (a mechanism causing an oscillatory flow of the charged liquid) 3 is provided. For the vibrator, a solenoid or a diaphragm may be used. Operation of the vibrator 3 will cause an oscillatory flow of the charged liquid sealed in the flow path 2. A vibrator (a mechanism causing an oscillatory flow of the charged liquid) 16, such as solenoid or a diaphragm, is provided.

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-364991

(P2002-364991A)

(43) 公開日 平成14年12月18日 (2002.12.18)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

F 28 D 15/06

15/02

// H 01 L 23/427

識別記号

101

F I

F 28 D 15/02

テ-マ-ト<sup>8</sup> (参考)

101 L 5 F 036

105 D

H 01 L 23/46

B

審査請求 未請求 請求項の数4 O L (全7頁)

(21) 出願番号

特願2001-172566(P2001-172566)

(22) 出願日

平成13年6月7日 (2001.6.7)

特許法第30条第1項適用申請有り 平成13年5月23日～  
25日 日本伝熱学会主催の「第38回日本伝熱シンポジウム」において文書をもって発表

(71) 出願人 599069404

ティーエス ヒートロニクス 株式会社  
東京都狛江市岩戸北3-11-4

(72) 発明者 西尾 茂文

東京都目黒区駒場四丁目6-1 東京大学  
生産技術研究所内

(72) 発明者 田中 久嗣

東京都目黒区駒場四丁目6-1 東京大学  
生産技術研究所内

(74) 代理人 100100413

弁理士 渡部 温

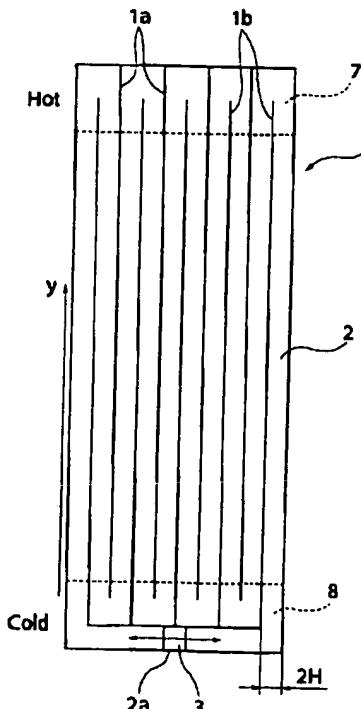
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 強制振動流型ヒートパイプ及びその設計方法

(57) 【要約】

【課題】 輸送熱量と加振エネルギーの比 (動作係数) を適切な範囲とした強制振動流型ヒートパイプを提供する。

【解決手段】 ヒートパイプ本体1は、吸熱部7と放熱部8との間で蛇行する閉ループ流路2を有する。ヒートパイプ本体1の流路2内には、封入流体が封入されている。流路2の両端末の連結部分2aには、パイプレータ3が設けられている。パイプレータ3を作動すると、流路2内に封入された封入流体に振動流が生じる。流路2内における封入流体の振動流は、隣り合う流路内で逆位相となる。このコスマスヒートパイプにおいては、無次元実効熱拡散率 $\kappa_{eff}$ がドリームパイプを上回る修正ウオスマスリー数 $\alpha$ の範囲を選択する観点から、修正ウオスマスリー数 $\alpha$ を0.4～7とした。



### 【特許請求の範囲】

【請求項1】 吸熱部と放熱部との間で蛇行する閉ループ流路を有するヒートパイプ本体と、  
該流路内に封入された封入流体と、  
該封入流体に振動流を生じさせる加振機構と、を具備し、  
隣接する流路内の振動流を逆位相とするヒートパイプであつて、  
前記封入流体のプラントル(Prandtl)数  $P_r$  が 100 以下であり、  
以下の式で定義される修正ウオマスリー(Womersley)数  $\alpha$  が 0.4 ~ 7 であることを特徴とする強制振動流型ヒートパイプ；  
$$\alpha = H (\omega / \kappa)^{1/2}$$
  
H : 前記流路幅の半分 (単位m)  
 $\omega$  : 振動の角周波数 (単位 1/s)  
 $\kappa$  : 封入流体の熱拡散率 (単位  $m^2/s$ )。

【請求項2】 前記プラントル数  $P_r$  が 50 以下であり、前記修正ウオマスリー数  $\alpha$  が 0.4 ~ 7 であることを特徴とする請求項1記載の強制振動流型ヒートパイプ。

【請求項3】 前記封入流体の比熱  $c_p$  が、100 J/Kより大であることを特徴とする請求項1又は2記載の強制振動流型ヒートパイプ。

【請求項4】 吸熱部と放熱部との間で蛇行する閉ループ流路を有するヒートパイプ本体と、  
該流路内に封入された封入流体と、  
該封入流体に振動流を生じさせる加振機構と、を具備し、  
隣接する流路内の振動流を逆位相とするヒートパイプの設計方法であつて、  
前記封入流体のプラントル(Prandtl)数  $P_r$  を 100 以下とし、  
以下の式で定義される修正ウオマスリー(Womersley)数  $\alpha$  を算出し、該数を 0.4 ~ 7 の間で選択することを特徴とする強制振動流型ヒートパイプの設計方法；  
$$\alpha = H (\omega / \kappa)^{1/2}$$
  
H : 前記流路幅の半分 (単位m)  
 $\omega$  : 振動の角周波数 (単位 1/s)  
 $\kappa$  : 封入流体の熱拡散率 (単位  $m^2/s$ )。

### 【発明の詳細な説明】

#### 【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、半導体素子等の発熱体が発する熱を封入流体の振動流によって輸送する強制振動流型ヒートパイプに関する。特には、輸送熱量と加振エネルギーの比(動作係数)を適切な範囲とした強制振動流型ヒートパイプに関する。また、そのようなヒートパイプの設計方法に関する。

#### 【0002】

【従来の技術】 ヒートパイプは、封入流体を流動させて大量の熱を輸送することができるデバイスであり、電子

回路基板に搭載される半導体素子等の発熱体の冷却に用いられる。

【0003】 回路基板に搭載される部品の集積度は最近一層高くなつておあり、ヒートパイプの小型化と熱輸送能力の向上がより一層求められている。例えば、ノートブック型パーソナルコンピュータの場合、ヒートパイプをコンピュータ筐体内に納めるためには、パイプ径の細径化や薄板化が求められている。さらに、液晶パネル背面への熱輸送を図るために、ヒートパイプのフレキシブル化も求められている。

【0004】 ヒートパイプの典型例としては、ウィック型ヒートパイプを挙げることができる。これは、封入流体の蒸発と凝縮とを利用し、凝縮した封入流体の吸熱部(蒸発部)への還流を、ウィック(wick; 灯心)等の毛管力の作用によって行うものである。ところが、前述のウィック型ヒートパイプは、以下に述べる欠点を有している。

(a) 热輸送量に上限界があり、この上限値がパイプ径の減少とともに急速に低下する。

(b) ヒートパイプの内部構造が、封入流体を還流させるためにやや複雑で特殊になる。

【0005】 (c) 热輸送量が不凝縮性ガス濃度に影響され易い。

(d) ウィック型ヒートパイプは、いわゆる受動型デバイス(外部から動力供給を行わずに作動するデバイス)であり、トップヒート(top heat; 吸熱部が重力方向の上部にある状態)や微小重力場では作動することが困難である。前記(a)あるいは(b)の欠点を有するため、ウィック型ヒートパイプは細径化やフレキシブル化が困難である。そのため、前記(a)～(d)の欠点を解消した新たなヒートパイプが求められている。

【0006】 このような状況下で、封入流体の振動流によって効果的に熱輸送を行うことができる振動流型ヒートパイプが注目されている。この振動流型ヒートパイプは、以下に述べる(I)、(II)のタイプに大きく分けることができる；

(I) 封入流体の相変化を利用するタイプ

このタイプは、蛇行閉ループに液体とその蒸気とがある割合で封入し、自励的に発生する二相振動流や脈動流を利用するものである。

【0007】 (II) 封入流体の相変化を利用しないタイプ

このタイプは、強制振動流における拡散促進効果を利用するもので、強制振動流型ヒートパイプと呼ばれる。この強制振動流型ヒートパイプには、同位相式(ドリームパイプ)と逆位相式(コスモス式; Counter-Stream-Mode Oscillating-Flow (COSMOS))とがある。ドリームパイプは、ヒートパイプ本体が細い管群となつており、隣接する管内の振動流を同位相とするものである。なお、このようなドリームパイプは、Kurzweg-Zha

o. Phys. Fluid, 27 (1984), 2624-2627により提案された。

【0008】コスモスヒートパイプは、ヒートパイプ本体が蛇行閉ループとなっており、隣接する流路内の振動流を逆位相とするものである。このコスモスヒートパイプは、ウィック式や相変化式のヒートパイプに比べて、トップヒートへの対応性が高い。さらに、振動流の振幅や周波数を変えることで熱輸送量をコントロールできるので、発熱体の温度コントロールが可能であるという利点もある。さらには、パイプの細径化やフレキシブル化への対応も可能と考えられる。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、コスモスヒートパイプは、まだ実用化されていない。本発明は、輸送熱量と加振エネルギーの比（動作係数）を適切な範囲とした強制振動流型ヒートパイプを提供することを目的とする。また、そのようなヒートパイプの設計方法を提供することも目的とする。

【0010】

【課題を解決するための手段】上記の課題を解決するため、本発明の強制振動流型ヒートパイプは、吸熱部と放熱部との間で蛇行する閉ループ流路を有するヒートパイプ本体と、該流路内に封入された封入流体と、該封入流体に振動流を生じさせる加振機構と、を具備し、隣接する流路内の振動流を逆位相とするヒートパイプであって、前記封入流体のプラントル（Prandtl）数  $P_r$  が 100 以下であり、以下の式で定義される修正ウオマスリー（Womersley）数  $\alpha$  が 0.4 ~ 7 であることを特徴とする強制振動流型ヒートパイプ；

$$\alpha = H (\omega / \kappa)^{1/2}$$

H : 前記流路幅の半分（単位m）

$\omega$  : 振動の角周波数（単位 1/s）

$\kappa$  : 封入流体の熱拡散率（単位  $m^2/s$ ）。

【0011】本発明の強制振動流型ヒートパイプの設計方法は、吸熱部と放熱部との間で蛇行する閉ループ流路を有するヒートパイプ本体と、該流路内に封入された封入流体と、該封入流体に振動流を生じさせる加振機構と、を具備し、隣接する流路内の振動流を逆位相とするヒートパイプの設計方法であって、前記封入流体のプラントル（Prandtl）数  $P_r$  を 100 以下とし、以下の式で定義される修正ウオマスリー（Womersley）数  $\alpha$  を算出し、該数を 0.4 ~ 7 の間で選択することを特徴とする強制振動流型ヒートパイプの設計方法；

$$\alpha = H (\omega / \kappa)^{1/2}$$

H : 前記流路幅の半分（単位m）

$\omega$  : 振動の角周波数（単位 1/s）

$\kappa$  : 封入流体の熱拡散率（単位  $m^2/s$ ）。

【0012】本発明は、輸送熱量と加振エネルギーの比（動作係数）を適切な範囲とする手法を提供し、強制振動流型ヒートパイプの実用化・汎用化を促進できる。

【0013】本発明の強制振動流型ヒートパイプにおいては、前記プラントル数  $P_r$  が 50 以下であり、前記修正ウオマスリー数  $\alpha$  が 0.4 ~ 7 であることが好ましい。また、前記封入流体の比熱  $c_p$  が、100 J/kg · K より大であることが好ましい。

【0014】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照しつつ説明する。まず、逆位相式（コスモス式）の強制振動流型ヒートパイプ（以下、コスモスヒートパイプという）の構成について説明する。図1は、本発明の一実施例に係るコスモスヒートパイプの一例を示す模式図である。図1に示すコスモスヒートパイプのヒートパイプ本体1は、吸熱部と放熱部との間で蛇行する閉ループ流路2を有する。ヒートパイプ本体1の隣接する流路2間に、図の上側から下側に延びる壁部1a（図1の例においては4つ）と、図の下側から上側に延びる壁部1b（図1の例においては5つ）が存在する。

【0015】ヒートパイプ本体1の流路2内には、封入流体が封入されている。この封入流体としては、後述する様々な液体等を用いることができる。ヒートパイプ本体1の流路2の両端末の連結部分2aには、バイブレータ（加振機構）3が設けられている。バイブレータ3としては、ソレノイドやダイヤフラム等を用いることができる。このバイブレータ3を作動すると、流路2内に封入された封入流体に振動流が生じる。流路2内における封入流体の振動流は、隣り合う流路内で逆位相となる。なお、このようなコスモスヒートパイプにおいては、長手方向の端部、この例では図の上部が吸熱部7となり、図の下部が放熱部8となる。

【0016】次に、参考例とし、同位相式（ドリーム式）の強制振動流型ヒートパイプの構成について説明する。図2は、同位相式（ドリーム式）の強制振動流型ヒートパイプの一例を示す模式図である。図2に示すドリームパイプのヒートパイプ本体11は、温熱貯蔵部12と冷熱貯蔵部13を有する。これらの貯蔵部12、13間に、パイプ群14で繋がれている。パイプ群14は、この例では5つの細い管群であり、それぞれ壁部14aで仕切られている。両貯蔵部12、13及びパイプ群14の流路15内に、封入流体が封入されている。ヒートパイプ本体11の冷熱貯蔵部13には、ソレノイドやダイヤフラム等からなるバイブレータ（加振機構）16が設けられている。このバイブレータ16を作動すると、ヒートパイプ本体11内に封入された封入流体に振動流が生じる。流路15内における封入流体の振動流は、隣り合う流路内で同位相となる。

【0017】次に、コスモスヒートパイプについて、輸送熱量と加振エネルギーの比（動作係数）を適切な範囲とするための設計条件について説明する。図1に示すようなコスモスヒートパイプについて、平行平板間の幅2Hの二次元流路内で、流路長さ方向yの圧力勾配  $P_{co}$

$s[\omega t]$  (P: 振動流の圧力振幅 (単位Pa)、 $\omega$ : バイブレータの振動の角周波数 (単位 $1/s$ )、t: 時間 (単位s)) によって誘起される周期定常な層流振動流を考える。なお、以下の説明においては、簡単のため流路壁の厚さはゼロとする。このように仮定しても、銅やアルミニウム等の標準的な材料で通常の厚さ (例えば0.1~0.3mm) を選択する限りにおいては、大勢に影響はない。

【0018】本発明者等が「機論B編、60(1994)、3498-3503(史小宏・西尾茂文・舟津功治)」及び「Int. J. Heat&Mass Transfer、38(1995)、2457-2470(S. Nishio, X.-H. Shi and W.-M. Zhang)」に示したように、コスマスヒートパイプの無次元実効熱拡散率  $\kappa_{ef}^*$  に関しては、次の「数1」が成立する;

【数1】

$$\kappa_{ef}^*[\Pr, \alpha] \equiv M_\kappa[\Pr, \alpha] \equiv \frac{\kappa_{ef}}{\alpha S^2}$$

$$= \frac{\operatorname{Re} \left[ \frac{\sqrt{i}}{\Pr^2 - 1} \left( \Pr \tanh \left[ \sqrt{i} \frac{\alpha}{\sqrt{\Pr}} \right] - \frac{\tanh \left[ \sqrt{i} \alpha \right]}{\sqrt{\Pr}} \right) \right]}{2(M_u - 1) \frac{\alpha}{\sqrt{\Pr}}}$$

なお、上式において、「 $\equiv$ 」は「定義する」という意味である。

【0019】この「数1」において、iは虚数単位、 $\operatorname{Re}[X]$ はXの実部を意味する。さらに、 $\Pr$ はプラントル(Prandtl)数を表し、 $\alpha$ は修正ウォマスリー(Womersley)数を表す。ここで、修正ウォマスリー数  $\alpha$ は、次式で定義される;

$$\alpha = H (\omega / \kappa)^{1/2}$$

但し、H: パイプ(図1参照)の流路幅の半分(単位m)

$\omega$ : バイブルータ(図1参照)の振動の角周波数(単位 $1/s$ )

$\kappa$ : 封入流体の熱拡散率(単位 $m^2/s$ )。

【0020】さらに、「数1」における $M_u$ は、次の「数2」で与えられる;

【数2】

$$M_u = \frac{2\{\beta \sinh[\beta] + \beta \sin[\beta] - \cosh[\beta] + \cos[\beta]\}}{\beta^2 \{\cosh[\beta] + \cos[\beta]\}}$$

但し、 $\beta \equiv H \sqrt{(2\omega/\nu)}$

$\nu$ : 封入流体の動粘性係数(単位 $m^2/s$ )

である。さらに、「数1」において、

$\kappa_{ef}$ : 封入流体の実効熱拡散率(単位 $m^2/s$ )

S: 振動流の体積振幅(単位m)

である。

【0021】一方、図3に示すドリームパイプが、単位長さと単位温度勾配(温度勾配 $\Omega = 1$ (単位 $K/m$ ))

を有するものとし、このようなドリームパイプが輸送可能な熱量(単位W)と振動流を駆動するための仕事との比を基準動作係数  $\eta_{se}$  と呼ぶと、これは次の「数3」で与えられる;

【数3】

$$\eta_{se} = \frac{k_{ef} A_c}{\frac{\omega}{2\pi} \int_0^{2\pi/\omega} \int_0^A c_u P \cos[\alpha x] dA dx}$$

$$= \frac{c_p}{\omega^2} M_\eta[\Pr, \alpha]$$

但し、 $A_c$ : コスマスヒートパイプの流路総断面積( $m^2$ )

$c_p$ : 定圧比熱(単位 $J/(kg \cdot K)$ )

$u$ : 封入流体の流速(単位 $m/s$ )

である。

【0022】「数1」によれば実効熱拡散率  $\kappa_{ef}^*$  は  $S^2$  に比例し、「数3」によれば基準動作係数  $\eta_{se}$  は  $S$  に依存しないことがわかるので、振動流の体積振幅  $S$  はシステムが許容できる最大の値とすることが妥当である。そこで、本実施例では、振動流の体積振幅  $S$  を所与とし、無次元実効熱拡散率  $\kappa_{ef}^*$  と動作係数を最大にする条件について考察する。

【0023】まず、無次元実効熱拡散率を最大にする条件について考察する。図3は、無次元実効熱拡散率  $\kappa_{ef}^*$  を、修正ウォマスリー数  $\alpha$  に対して、プラントル数  $\Pr$  をパラメータとして示したグラフである。図3のグラフにおいて、縦軸は無次元実効熱拡散率  $\kappa_{ef}^*$  を表し、横軸は修正ウォマスリー数  $\alpha$  を表す。白抜き記号はコスマスヒートパイプを表し、○、□及び△は、それぞれプラントル数を  $\Pr = 0, 0.1, 1$  及び  $1.00$  とした場合の値を示す。黒塗り記号はドリームパイプを表し、●、▲、■及び◆は、それぞれプラントル数を  $\Pr = 0, 0.1, 0.5, 1$  及び  $1.00$  とした場合の値を示す。

【0024】図3のグラフからわかるように、コスマス式ならびにドリーム式ヒートパイプの双方について、各プラントル数  $\Pr$  で無次元実効熱拡散率  $\kappa_{ef}^*$  が最大となる修正ウォマスリー数  $\alpha$  が存在する。最大値の具体的な数値は、以下の通りである;

(A) コスマスヒートパイプの場合

(A 1) プラントル数  $\Pr = 0, 0.1$  に対しては、修正ウォマスリー数  $\alpha = 1.56$  において無次元実効熱拡散率  $\kappa_{ef}^* = 0.228$ 。

(A 2) プラントル数  $\Pr = 1$  に対しては、修正ウォマスリー数  $\alpha = 1.56$  において無次元実効熱拡散率  $\kappa_{ef}^* = 0.299$ 。

(A 3) プラントル数  $\Pr = 1.00$  に対しては、修正ウォマスリー数  $\alpha = 1.57$  において無次元実効熱拡散率  $\kappa_{ef}^* = 0.300$ 。

【0025】(B) ドリーム式ヒートパイプの場合

(B 1) プラントル数  $P_r = 0, 01$  に対しては、修正ウオマスリー数  $\alpha = 1, 34$  において無次元実効熱拡散率  $\kappa_{ef}^* = 0, 00152$ 。

(B 2) プラントル数  $P_r = 0, 1$  に対しては修正、ウオマスリー数  $\alpha = 1, 84$  において無次元実効熱拡散率  $\kappa_{ef}^* = 0, 0122$ 。

(B 3) プラントル数  $P_r = 1$  に対しては、修正ウオマスリー数  $\alpha = 2, 89$  において無次元実効熱拡散率  $\kappa_{ef}^* = 0, 0420$ 。

(B 4) プラントル数  $P_r = 100$  に対しては、修正ウオマスリー数  $\alpha = 3, 19$  において無次元実効熱拡散率  $\kappa_{ef}^* = 0, 0477$ 。

【0026】本発明では、コスモスヒートパイプの無次元実効熱拡散率  $\kappa_{ef}^*$  が、ドリームパイプを上回る修正ウオマスリー数  $\alpha$  の範囲を選択する観点から、修正ウオマスリー数  $\alpha$  を  $0, 4 \sim 7$  とした。

【0027】次に、動作係数を最大にする条件について考察する。目的の実効熱拡散率を  $\kappa_{ef,0}$  とすると、「数1」より次式が得られる；

【数4】

$$\omega = \frac{\kappa_{ef,0}}{S^2 M_\kappa [Pr, \alpha]}$$

【0028】この「数4」を「数3」に代入すると、次の「数5」が得られる；

【数5】

$$\begin{aligned} \eta_{se,0} &= \left( \frac{c_p S^4}{\kappa_{ef,0}^2} \right) M_\kappa [Pr, \alpha]^2 M_\eta [Pr, \alpha] \\ &= \left( \frac{c_p S^4}{\kappa_{ef,0}^2} \right) \eta_0 [Pr, \alpha] \end{aligned}$$

【0029】図4は、「数5」における動作係数  $\eta_0$  を、修正ウオマスリー数  $\alpha$  に対して、プラントル数  $P_r$  をパラメータとして示したグラフである。同図 (a) がコスモスヒートパイプの場合を表し、同図 (b) がドリームパイプの場合を表す。図4のグラフにおいて、縦軸は「数5」における動作係数  $\eta_0$  を表し、横軸は修正ウオマスリー数  $\alpha$  を表す。図4 (a) のコスモスヒートパイプについては、プラントル数を  $P_r = 0, 01, 0, 1, 1, 10$  及び  $100$  とした場合のグラフを示す。図4 (b) のドリームパイプについては、プラントル数を  $P_r = 0, 1, 1, 10$  及び  $100$  とした場合のグラフを示す。

【0030】図4のグラフからわかるように、コスモス式ならびにドリーム式ヒートパイプの双方について、各プラントル数  $P_r$  で  $\eta_0$  が最大となる修正ウオマスリー数  $\alpha$  が存在する。最大値の具体的な数値は、以下の通りである；

【0031】(C) コスモスヒートパイプの場合 (図4 (a) 参照)

(C 1) プラントル数  $P_r = 0, 01$  に対しては、修正ウオマスリー数  $\alpha = 1, 72$  において動作係数  $\eta_0 = 0, 503$ 。

(C 2) プラントル数  $P_r = 0, 1$  に対しては、修正ウオマスリー数  $\alpha = 1, 69$  において動作係数  $\eta_0 = 0, 213$ 。

(C 3) プラントル数  $P_r = 1$  に対しては、修正ウオマスリー数  $\alpha = 1, 84$  において動作係数  $\eta_0 = 0, 0502$ 。

(C 4) プラントル数  $P_r = 10$  に対しては、修正ウオマスリー数  $\alpha = 1, 87$  において動作係数  $\eta_0 = 0, 0525$ 。

(C 5) プラントル数  $P_r = 100$  に対しては、修正ウオマスリー数  $\alpha = 1, 87$  において動作係数  $\eta_0 = 0, 000525$ 。

【0032】(D) ドリーム式ヒートパイプの場合 (図4 (b) 参照)

(D 1) プラントル数  $P_r = 0, 1$  に対しては、修正ウオマスリー数  $\alpha = 2, 25$  において動作係数  $\eta_0 = 2, 67 \times 10^{-5}$ 。

(D 2) プラントル数  $P_r = 1$  に対しては、修正ウオマスリー数  $\alpha = 3, 21$  において動作係数  $\eta_0 = 4, 02 \times 10^{-4}$ 。

(D 3) プラントル数  $P_r = 10$  に対しては、修正ウオマスリー数  $\alpha = 3, 84$  において動作係数  $\eta_0 = 8, 73 \times 10^{-5}$ 。

(D 4) プラントル数  $P_r = 100$  に対しては、修正ウオマスリー数  $\alpha = 3, 85$  において動作係数  $\eta_0 = 8, 86 \times 10^{-6}$ 。

【0033】この動作係数  $\eta_0$  を最大にする条件は、「数5」により、定圧比熱  $c_p$  が互いに近い値の封入流体であり、また振動流の体積振幅  $S$  が固定した条件で目的の実効熱拡散率  $\kappa_{ef,0}$  を実現する際に、最も高い動作係数を与える条件である。したがって、この動作係数  $\eta_0$  が最大になるように条件設定すると動作係数を適切な範囲とすることができます。このように、振動流の体積振幅  $S$  が与えられたときに、動作係数  $\eta_0$  と熱拡散率 (無次元実効熱拡散率  $\kappa_{ef}^*$ ) を最適にする条件が決定される。前述の  $\alpha = 0, 4 \sim 7$  の範囲において、動作係数  $\eta_0$  はドリームパイプよりはるかに大きく、好ましい範囲といえる。

【0034】次に、前述の設計条件に基づくコスモスヒートパイプの具体的な数値例について述べる。強制振動流型ヒートパイプの封入流体の平均温度を  $300\text{ K}$  とし、封入流体を  $\text{Na-K}$  (プラントル数  $P_r = 0, 045$ )、水 (プラントル数  $P_r = 5, 85$ )、又は、エタノール (プラントル数  $P_r = 20, 8$ ) とする。また、振動流の体積振幅は  $S = 50\text{ mm}$ 、振動の角振動数は  $\omega$

$= 2\pi$  (周波数は 1 Hz) とする。

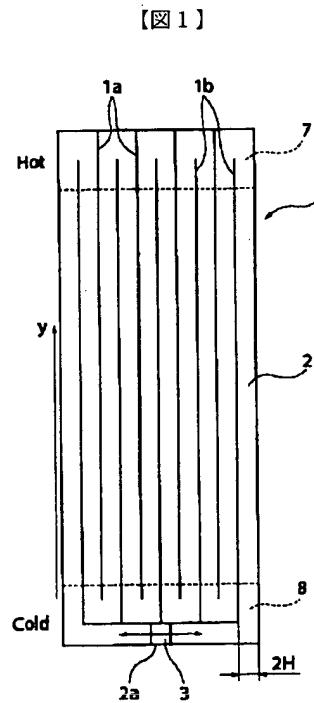
【0035】図5は、この条件下におけるコスモスヒートパイプについて、流路幅2H、得られる実効熱拡散率と銅の熱拡散率との比 $\chi$ 、及び、基準動作係数 $\eta_{se}$ の値をそれぞれ示す表である。なお、基準動作係数 $\eta_{se}$ の値は、温度勾配が $\Omega = 1 \text{ K/m}$ の場合である。図5の表に示す通り、前述した最適条件下 ( $\eta_0$ が最大になるような条件下) でのコスモスヒートパイプは、封入流体がN a-K、水、エタノールのいずれであっても、実効熱拡散率と銅の熱拡散率との比 $\chi = 3.4 \sim 4.0$ となっており、銅に比べて高い実効熱伝導率と動作係数が実現できる。例えば、現実の温度勾配を $10 \text{ K/m}$ とし、封入流体を水とした場合は、本発明に係る設計条件に基づくコスモスヒートパイプは、図5の $\eta_{se}$ と $10 \text{ K/m}$ から熱輸送量の $1/8.9$ であり、熱輸送量の1%程度の加振仕事で銅の40倍程度の熱輸送が実現できる。

#### 【0036】

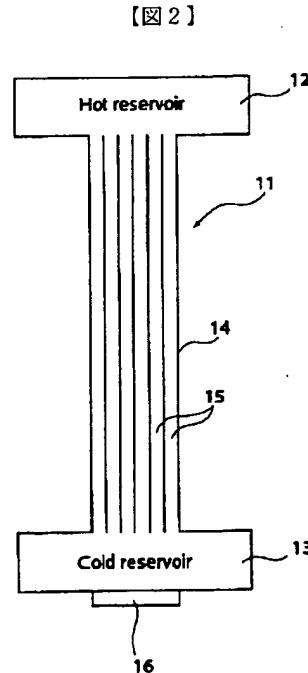
【発明の効果】以上の説明から明らかなように、本発明によれば、輸送熱量と加振エネルギーの比（動作係数）を適切な範囲とした強制振動流型ヒートパイプを提供できる。

#### 【図面の簡単な説明】

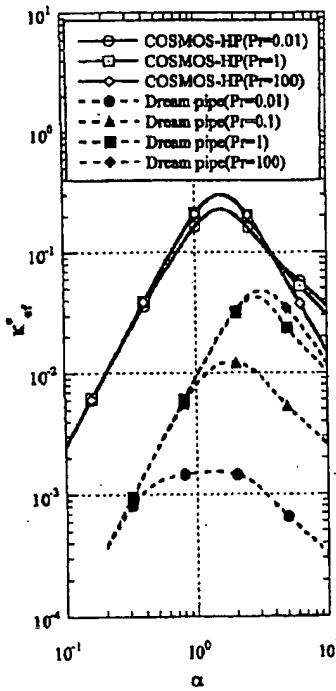
【図1】本発明の一実施例に係るコスモスヒートパイプ



【図1】



【図2】



【図3】

の一例を示す模式図である。

【図2】同位相式（ドリーム式）の強制振動流型ヒートパイプの一例を示す模式図である。

【図3】無次元実効熱拡散率 $\kappa_{ef}^*$ を、修正ウオマスリ一数 $\alpha$ に対して、プラントル数 $P_r$ をパラメータとして示したグラフである。

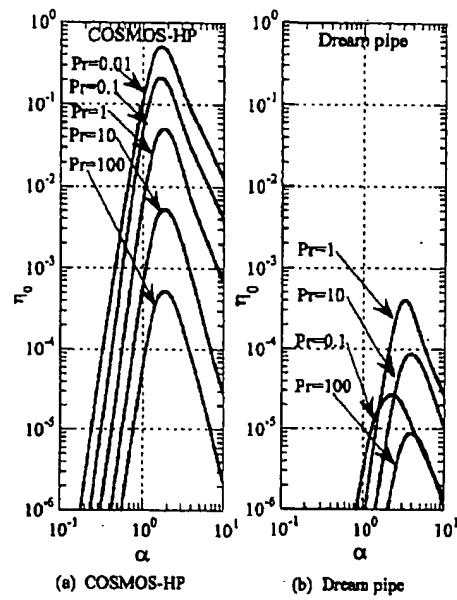
【図4】「数5」における動作係数 $\eta_0$ を、修正ウオマスリ一数 $\alpha$ に対して、プラントル数 $P_r$ をパラメータとして示したグラフである。同図(a)がコスモスヒートパイプの場合を表し、同図(b)がドリームパイプの場合を表す。

【図5】コスモスヒートパイプについて、流路幅2H、得られる実効熱拡散率と銅の熱拡散率との比 $\chi$ 、及び、基準動作係数 $\eta_{se}$ の値をそれぞれ示す表である。

#### 【符号の説明】

1 ヒートパイプ本体	1 a、
1 b 壁部	
2 閉ループ流路	2 a
両端末の連結部分	
3 バイブレータ（加振機構）	
7 吸熱部	8 放熱部

【図4】



【図5】

	Na-K	Water	Ethanol
2H[mm]	5.4	0.48	0.37
$\chi$	34	40	40
$\eta_{se}$	130	8.9	2.0

フロントページの続き

(72) 発明者 久保 浩二  
 東京都狛江市岩戸北3-11-4 ティーエ  
 ス ヒートロニクス 株式会社内

F ターム(参考) 5F036 AA01 BA08 BB60